

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2004-264979

(43)Date of publication of application : 24.09.2004

(51)Int.Cl.

G05B 13/04  
H02P 5/00

(21)Application number : 2003-052804

(71)Applicant : YASKAWA ELECTRIC CORP

(22)Date of filing : 28.02.2003

(72)Inventor : NAKAMURA YUJI  
UMEDA NOBUHIRO

## (54) SERVO CONTROL DEVICE

### (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a servo control device capable of providing high following accuracy without accompanying an overshoot or continuous vibration.

**SOLUTION:** A compensation signal computing unit 10 generates a target command increment value that is a component allowing follow of a control target 1 with a command increment value that is increment in a sampling period of a command as input, and sends it to a controller 20. The compensation signal computing unit 10 generates a compensation signal compensating a difference between the command increment value and the target command increment value, and sends it to a control target 1. The controller 20 sends control input to the control target 1 such that the command coincides with output of the control target 1, with the target command increment value and the output of the control target 1 as the input.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 13.01.2006

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

**BEST AVAILABLE COPY**

[Date of requesting appeal against examiner's  
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

\* NOTICES \*

JPO and NCIP are not responsible for any  
damages caused by the use of this translation.

1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original  
precisely.

2.\*\*\* shows the word which can not be translated.

3.In the drawings, any words are not translated.

---

## CLAIMS

---

[Claim(s)]

[Claim 1]

The controller which sends a control input to said controlled system so that the target command which is the integrated value of said target command delta value, and the output of said controlled system may be made in agreement by considering the target command delta value which is the component which can follow said controlled system of the command delta value which is the servo control which controls a controlled system according to a command, and is an increment between the sampling periods of said command, and the output of said controlled system as an input, The servo control which has the compensatory-signal computing element which generates the compensatory signal with which the difference of said command delta value and said target command delta value is compensated, and is sent to said controlled system while generating said target command delta value by considering said command delta value as an input and sending to said controller.

[Claim 2]

Said compensatory-signal computing element is a servo control according to claim 1 which has the 1st filter which filters said command delta value and extracts said target command delta value, and the subtractor which subtracts said target command delta value from said command delta value in order to acquire said compensatory signal.

[Claim 3]

Said compensatory-signal computing element is a servo control according to claim 2 which has further the multiplier which carries out the multiplication of the adjustment gain to said compensatory signal, and is sent to said controlled system.

[Claim 4]

Said compensatory-signal computing element is a servo control according to claim 3 which has further the 1st phase adjuster which carries out phase adjustment of said command delta value, and is sent to said subtractor, and the 2nd phase adjuster which carries out phase adjustment of this command delta value, and is sent to said 1st filter.

[Claim 5]

Said compensatory-signal computing element is a servo control according to claim 3 which has further the 1st phase adjuster which carries out phase adjustment of the output of said subtractor, and is sent to said multiplier, and the 2nd phase adjuster which carries out phase adjustment of said target delta value extracted with said 1st filter, and is sent to said controller.

[Claim 6]

Said compensatory-signal computing element is a servo control according to claim 3 which has

further the 2nd filter which filters said command delta value of an input beforehand.

[Claim 7]

Said controller is a servo control according to claim 1 which is the predictor-control machine which determines in the first half that a control input will make the performance index about the deflection forecast, control input, and control-input delta value of future time of day in said controlled system into min.

[Claim 8]

Said controller is a servo control according to claim 1 which is the position control machine which adjusts said control input so that the target command which integrates said target command delta value and is obtained, and the output of said controlled system may be made in agreement.

[Claim 9]

Said controlled system contains a motor and its speed-control machine,

Said controller gives a rate command to said speed-control machine as said control input,

Said compensatory-signal computing element is a servo control according to claim 1 which gives the feedforward signal with which a rate or torque is compensated to said speed-control machine as said compensatory signal.

[Claim 10]

Said controlled system contains a motor and its torque control machine,

Said controller gives a torque command to said torque control machine as said control input,

Said compensatory-signal computing element is a servo control according to claim 1 which gives the feedforward signal with which torque is compensated to said torque control machine as said compensatory signal.

[Claim 11]

The servo control according to claim 9 or 10 said whose motor is a rectilinear-propagation mold motor.

[Claim 12]

The servo control according to claim 4 or 5 said whose 1st or 2nd phase adjuster is a low pass filter.

[Claim 13]

The servo control according to claim 4 or 5 said whose 1st or 2nd phase adjuster is a high-pass filter.

[Claim 14]

The servo control according to claim 4 or 5 said whose 1st or 2nd phase adjuster is a delay machine with which a signal is delayed by the time amount specified with the parameter for phase adjustment.

[Claim 15]

The servo control according to claim 2 said whose 1st filter is a recursive filter.

[Claim 16]

The servo control according to claim 2 said whose 1st filter is a non-recursive filter.

[Claim 17]

The servo control according to claim 6 said whose 2nd filter is a recursive filter.

[Claim 18]

The servo control according to claim 6 said whose 2nd filter is a non-recursive filter.

[Claim 19]

Said position control machine is a servo control according to claim 8 which determines a control input with proportion of the deflection of the target command which integrates said target command delta value and is obtained, and the location of said motor, an integral, either of the derivation, or those combination.

[Translation done.]

\* NOTICES \*

JPO and NCIP are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

DETAILED DESCRIPTION

---

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention]

This invention relates to the servo control which drives the machining machine which needs a high command flattery precision, semiconductor fabrication machines and equipment, a mounting machine, etc.

[0002]

[Description of the Prior Art]

Various configurations are proposed from the former as a servo control which gives a control input to a controlled system so that the output of a controlled system may be made in agreement with a target command (see the patent reference 1 and 2 by these people).

[0003]

Drawing 7 is the block diagram showing the configuration of the predictor-control machine used for the conventional servo control indicated by the patent reference 1.

[0004]

The predictor-control machine 61 has memory 62-65, the computing element 66, the subtractor 67, and the integrator 68. And the predictor-control machine 61 is current time  $i-T_s$  (time of day  $i$  is called for convenience hereafter.) so that the output of a controlled system may be made in agreement with a target command.  $T_s$ : Give control-input  $u(i)$  to a controlled system in a sampling period by considering target command delta value  $\text{deltar}(i+M)$  of  $M$  sampling future, and delta value (output delta value being called hereafter)  $\text{deltay}(i-K)$  of the output of the controlled system of  $K$  ( $K \geq 0$ ) sampling past as an input.

[0005]

Memory 62 memorizes the target command delta value for two or more samplings. Memory 63 memorizes the constant  $E$  for control,  $v-K+1$ ,  $--$ ,  $vM$  and  $p0$ ,  $--$ ,  $pNa-1$ ,  $g1$ ,  $--$ ,  $gNb+K-1$ . Memory 64 memorizes the output delta value for two or more samplings. Memory 65 memorizes the control input for two or more samplings.

[0006]

A subtractor 67 searches for the difference of target command delta value  $\text{deltar}(i-K)$  of  $K$  sampling past, and output delta value  $\text{deltay}(i-K)$ . An integrator 68 asks for deflection  $e(i-K)$  by integrating the output of a subtractor 67.

[0007]

A computing element 66 is about control-input  $u(i)$  so that the future deflection forecast calculated using the transfer function model from the control input of a controlled system to an output, deflection, and the performance index about a control input may serve as min,

[0008]

[Equation 1]

$$u(i) = \sum_{m=-K+1}^M v_m \Delta r(i+m) - \sum_{n=0}^{Na-i} p_n \Delta y(i-K-n) + Ee(i-K) - \sum_{n=1}^{Nb+K-1} g_n u(i-n) \quad (1)$$

[0009]

It asks by carrying out.

[0010]

Drawing 8 is the block diagram showing the configuration of the servo control which applied the predictor-control machine shown in drawing 7. The control input from the predictor-control machine 61 is given to the motor controller 3 with the output of a controlled system. And a motor 2 drives by control of the motor controller 3. difference -- a vessel 69 generates an output delta value from the output of a controlled system, and sends it to the predictor-control machine 61.

[0011]

Since a control input is determined that the deflection forecast of the future will serve as min according to this configuration, a servo control with a sufficient flattery precision is realized.

[0012]

Moreover, the servo control with a high flattery precision which contains in it the feedforward signal creation command filter who does not degrade predictability even if feedforward control is performed to the patent reference 3 by this application is proposed.

[0013]

[Patent reference 1]

The patent No. 3175877 official report

[Patent reference 2]

International disclosure WO 93/20489

[Patent reference 3]

JP,2002-62906,A

[0014]

[Problem(s) to be Solved by the Invention]

Since the conventional servo control could not compensate lack of the driving torque resulting from delay of control, fluctuation of a load, friction, etc. by dynamic characteristics, it had the problem of producing a following error to big fluctuation of a rate or acceleration.

[0015]

Moreover, when the parameter was adjusted so that a command response might be improved in order to improve such a following error, there was also a problem that it will be accompanied by the transient overshoot or continuous oscillation.

[0016]

The object of this invention is offering the servo control which can acquire a high flattery precision, without being accompanied by the transient overshoot or continuous oscillation.

[0017]

[Means for Solving the Problem]

In order to attain the above-mentioned object, the servo control of this invention The target command delta value which is the component which can follow said controlled system of the command delta value which is the servo control which controls a controlled system according to a command, and is an increment between the sampling periods of said command, The controller which sends a control input to said controlled system so that the target command which is the integrated value of said target command delta value, and the output of said controlled system may be made in

agreement by considering the output of said controlled system as an input, While generating said target command delta value by considering said command delta value as an input and sending to said controller, it has the compensatory-signal computing element which generates the compensatory signal with which the difference of said command delta value and said target command delta value is compensated, and is sent to said controlled system.

[0018]

Therefore, only when a controller cannot be followed since change of a rate or acceleration is large while a controller controls a controlled system according to the target command delta value which can be followed with the controller generated from the command delta value by the compensatory-signal computing element according to this invention, a compensatory-signal computing element compensates the difference of a command delta value and a target command delta value with feedforward's compensatory signal over a controlled system.

[0019]

Moreover, said compensatory-signal computing element may have the 1st filter which filters said command delta value and extracts said target command delta value, and the subtractor which subtracts said target command delta value from said command delta value in order to acquire said compensatory signal.

[0020]

Moreover, said compensatory-signal computing element may have further the multiplier which carries out the multiplication of the adjustment gain to said compensatory signal, and is sent to said controlled system.

[0021]

Moreover, said compensatory-signal computing element may have further the 1st phase adjuster which carries out phase adjustment of said command delta value, and is sent to said subtractor, and the 2nd phase adjuster which carries out phase adjustment of this command delta value, and is sent to said 1st filter. Or said compensatory-signal computing element may have further the 1st phase adjuster which carries out phase adjustment of the output of said subtractor, and is sent to said multiplier, and the 2nd phase adjuster which carries out phase adjustment of said target delta value extracted with said 1st filter, and is sent to said controller.

[0022]

Moreover, said compensatory-signal computing element may have further the 2nd filter which filters said command delta value of an input beforehand.

[0023]

Moreover, said controller may be a predictor-control machine which determines in the first half that a control input will make the performance index about the deflection forecast, control input, and control-input delta value of future time of day in said controlled system into min. Or said controller may be a position control machine which adjusts said control input so that the target command which integrates said target command delta value and is obtained, and the output of said controlled system may be made in agreement.

[0024]

Moreover, said controller gives a rate command to said speed-control machine as said control input including a motor and its speed-control machine, and said controlled system of said compensatory-signal computing element is good for said speed-control machine as said compensatory signal also as giving the feedforward signal with which a rate or torque is compensated.

[0025]

Or said controller gives a torque command to said torque control machine as said control input including a motor and its torque control machine, and said controlled system of said compensatory-signal computing element is good for said torque control machine as said compensatory signal also as giving the feedforward signal with which torque is compensated.

[0026]

Moreover, said motor may be a rectilinear-propagation mold motor.

[0027]

Moreover, said 1st or 2nd phase adjuster may be a low pass filter, and you may be a high-pass filter, and may be the delay machine with which a signal is further delayed by the time amount specified with the parameter for phase adjustment.

[0028]

Moreover, said 1st filter may be a recursive filter and may be a non-recursive filter. Said 2nd filter may be a recursive filter and may be a non-recursive filter.

[0029]

Moreover, said position control machine is good also as determining a control input with proportion of the deflection of the target command which integrates said target command delta value and is obtained, and the location of said motor, an integral, either of the derivation, or those combination.

[0030]

[Embodiment of the Invention]

The example of this invention is explained to a detail with reference to a drawing.

[0031]

(The 1st example)

Drawing 1 is the block diagram showing the configuration of the servo control by the 1st example of this invention. If drawing 1 is referred to, the servo control will have the compensatory-signal computing element 10 and the predictor-control machine 20, and will control a controlled system 1.

[0032]

The compensatory-signal computing element 10 generates a compensatory signal and a target command delta value based on the delta value (command delta value) between the sampling periods of the command given from the high order command machine (un-illustrating).

[0033]

A target command delta value is the component which can follow the controlled system of a command delta value. A compensatory signal is a signal with which the difference of a command delta value and a target command delta value is compensated.

[0034]

By performing a predetermined operation by considering a target command delta value and the output of a controlled system 1 as an input, the predictor-control machine 20 generates a control input, and gives it to a controlled system 1. At this time, a control input is determined that the predictor-control machine 20 will make min the performance index about the deflection forecast, control input, and control-input delta value of future time of day.

[0035]

The predictor-control machine 20 could be indicated by the patent reference 1-3 etc., and the existing example shown, for example in drawing 7 here is used for it.

[0036]

In the example of drawing 7, supposing the transfer function model of a controlled system 1 is obtained by the discrete-time system of  $G_p(z) = (b_1 z^{-1} + \dots + b_N b z^{-N} b) / [(1 - z^{-1}) (1 - a_1 z^{-1} - \dots - a_N a z^{-N} a)]$ , the I/O delta value model will serve as a formula (2).

[0037]

[Equation 2]

$$\Delta \hat{y}(i) = \sum_{n=1}^{N_a} a_n \Delta \hat{y}(i-n) + \sum_{n=1}^{N_b} b_n u(i-n) \quad (2)$$

[0038]

In addition, it is shown here that delta is a delta value between sampling periods. In time of day i, since actual measurement delay (i-n) (n>=K) of the output delta value to time-of-day i-K is obtained, an actual measurement is used for the output delta value after it,

[0039]

[Equation 3]

$$\Delta y^*(i-K+1) = \sum_{n=1}^{Na} a_n \Delta y(i-K+1-n) + \sum_{n=1}^{Nb} b_n u(i-K+1-n) \quad m = -K+1 \quad (3a)$$

$$\Delta y^*(i+m) = \sum_{n=1}^{m+K-1} a_n \Delta y^*(i+m-n) + \sum_{n=m+K}^{Na} a_n \Delta y(i+m-n) + \sum_{n=1}^{Nb} b_n u(i+m-n) \quad m > -K+1 \quad (3b)$$

[0040]

If it comes out and predicts, output delta value forecast delay\* (i+m) will become a formula (4).

[0041]

[Equation 4]

$$\Delta y^*(i+m) = \sum_{n=K}^{Na+K-1} A_{mn} \Delta y(i-n) + \sum_{n=0}^{Nb+K-1} B_{mn} u(i-n) \quad m \geq -K+1 \quad (4)$$

[0042]

If multipliers Amn and Bmn set the control input of the future to u(j) = 0 (j>i) here,

[0043]

[Equation 5]

$$A_{(-K+1)n} = a_{(n-K+1)} \quad m = -K+1, K \leq n \leq Na+K-1 \quad (5a)$$

$$A_{mn} = \sum_{j=1}^{m+K-1} a_j A_{(m-j)n} + a_{(n+m)} \quad m > -K+1, K \leq n \leq Na+K-1 \quad (5b)$$

$$B_{(-K+1)n} = b_{(n-K+1)} \quad m = -K+1, 0 \leq n \leq Nb+K-1 \quad (6a)$$

$$B_{mn} = \sum_{j=1}^{m+K-1} a_j B_{(m-j)n} + b_{(n+m)} \quad m > -K+1, 0 \leq n \leq Nb+K-1 \quad (6b)$$

[0044]

It is come out and given. However, it is referred to as an=0 (n>Na) and bn=0 (n<1 and n>Nb).

[0045]

Moreover, if u(j) = u(i) and (j>i), Bm0 of a formula (6b) will become a formula (6b').

[0046]

[Equation 6]



$$\left. \begin{aligned} B_{m0} &= 0 & -K+1 < m \leq 0 \\ B_{m0} &= \sum_{j=1}^{m+K-1} a_j B_{(m-j)0} + \sum_{j=1}^m b_j, & m \geq 1 \end{aligned} \right\} \quad (6b')$$

[0047]

Then, future deflection forecast  $e^*(i+m)$ ,

[0048]

[Equation 7]

$$e^*(i+m) = \sum_{s=-K+1}^m \{\Delta r(i+s) - \Delta y^*(i+s)\} + e(i-K) \quad 1 \leq m \leq M \quad (7)$$

[0049]

It comes out and gives and is a performance index.

[0050]

[Equation 8]

$$J = \sum_{m=1}^M w_m \{e^*(i+m) + \alpha e(i-K)\}^2 + c\{u(i)\}^2 + c_d \{\Delta u(i)\}^2 \quad (8)$$

[0051]

If it determines that control-input  $u(i)$  will become \*\*\*\*\*, a formula (1) will be obtained from \*\*J/\*\*u(i)=0. However, each constant, and  $v_m$ ,  $p_n$ ,  $E$  and  $g_n$  are given by the formula (9).

[0052]

[Equation 9]

$$\left. \begin{aligned} \beta_s &= \sum_{j=1}^s B_{j0}, \quad W = \sum_{s=1}^M w_s \beta_s^2 + c + c_d, \quad q_s = w_s \beta_s / W \\ v_m &= \sum_{s=m}^M q_s, \quad m = -K+1, -K+2, \dots, M \\ E &= (1+\alpha)v_1 \\ p_n &= \sum_{m=-K+1}^M v_m A_{m(n+K)}, \quad n = 0, 1, \dots, N_a - 1 \\ g_1 &= \sum_{m=-K+1}^M v_m B_{m1} - c_d / W, \quad n = 1 \\ g_n &= \sum_{m=-K+1}^M v_m B_{mn}, \quad n = 2, \dots, N_b + K - 1 \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

[0053]

Here, if  $K = 0$ , it is the performance index of a formula (8),

[0054]

[Equation 10]

$$J = \sum_{m=1}^M w_m \{e^*(i+m) + \alpha e(i)\}^2 + c \{u(i)\}^2 + c_d \{\Delta u(i)\}^2 \quad (10)$$

[0055]

It becomes.

[0056]

And control-input  $u$  which makes the performance index of a formula (10) min (i),

[0057]

[Equation 11]

$$u(i) = \sum_{m=1}^M v_m \Delta r(i+m) - \sum_{n=0}^{N_a-1} p_n \Delta y(i-n) + E e(i) - \sum_{n=1}^{N_b-1} g_n u(i-n) \quad (11)$$

[0058]

It can come out.

[0059]

The control input from the predictor-control machine 20 is given to the motor controller 3 with the output of the compensatory signal from the compensatory-signal computing element 10, and a controlled system. And a motor 2 drives by control of the motor controller 3.

[0060]

Drawing 2 is the block diagram showing an example of the configuration of a compensatory-signal computing element. If drawing 2 is referred to, the compensatory-signal computing element 10 has filters 11 and 12, phase adjusters 13 and 14, the subtractor 15, and the multiplier 16.

[0061]

A filter 11 filters the given command delta value. A phase adjuster 13 carries out phase adjustment of the output of a filter 11, generates a signal S1, and sends it to a subtractor 15. A phase adjuster 14 carries out phase adjustment of the output of a filter 11, and sends it to a filter 14. A filter 14 filters the output of a phase adjuster 14, and generates a signal S2. A signal S2 is given to the predictor-control machine 20 as a target command delta value. A subtractor 15 subtracts the signal S2 from [ from the signal S1 from a phase adjuster 13 ] a filter 14, and sends it to a multiplier 16. A multiplier 16 carries out the multiplication of the gain  $K$  to the output of a subtractor 15, generates a compensatory signal, and gives it to the motor controller 3.

[0062]

As explained above, while the predictor-control machine 20 controls a controlled system 1 according to the target command delta value generated from the command delta value by the compensatory-signal computing element 10 according to the 1st example So that flattery deflection produced only in control of the predictor-control machine 20 since change of a rate or acceleration is large may be made small Since the compensatory-signal computing element 10 compensates the difference of a command delta value and a target command delta value with feedforward's compensatory signal over a controlled system 1 A controlled system 1 can be controlled by high

flattery precision, without change of a rate or acceleration producing a transient overshoot and continuous oscillation to the command changed sharply.

[0063]

Other configurations are also possible although here showed an example of the configuration of a compensatory-signal computing element to drawing 2.

[0064]

Drawing 3 is the block diagram showing other examples of a configuration of a compensatory-signal computing element.

[0065]

The command delta value inputted into compensatory-signal computing-element 10' shown in drawing 3 serves as a signal S3 through a filter 11. Moreover, a signal S3 serves as signal S4 through a filter 12. A subtractor 15 subtracts signal S4 from a signal S3, and sends it to a phase adjuster 13. Phase adjustment of the signal S4 is carried out with a phase adjuster 14, and it is sent to the predictor-control machine 20 as a target command delta value. Phase adjustment of the output of a subtractor 15 is carried out with a phase adjuster 13, and the multiplication of the gain K is carried out with a multiplier 16, it serves as a compensatory signal, and is sent to the motor controller 3.

[0066]

Drawing 4 is the block diagram showing the example of a configuration of further others of a compensatory-signal computing element. Compensatory-signal computing-element 10'' of drawing 4 is the configuration of having deleted the filter 11 from the compensatory-signal computing element 10 shown in drawing 2. Drawing 5 is the block diagram showing the example of a configuration of further others of a compensatory-signal computing element. compensatory-signal computing-element 10' of drawing 5 -- it is the configuration of having deleted the filter 11 from 'the compensatory-signal computing element 10 which showed 'to drawing 3'. Drawing 4 and the configuration of 5 are effective when the rigidity of a controlled system 1 is very high.

[0067]

When the motor controller 3 of a controlled system 1 is a speed-control machine, the control input to the motor controller 3 is a rate command, and a compensatory signal is a feedforward signal with which the rate or torque in the motor controller 3 is compensated.

[0068]

When the motor controller 3 of a controlled system 1 is a torque control machine, the control input to the motor controller 3 is a torque command, and a compensatory signal is a feedforward signal with which the torque in the motor controller 3 is compensated.

[0069]

As Gentlemen phase regulators 13 and 14 contained compensatory-signal computing-element 10, only the time amount set as the low pass filter, the high-pass filter, or the parameter for phase adjustment should choose more effective either among the delay machines with which a signal is delayed.

[0070]

What is necessary is just to choose the high thing of any or effectiveness among a recursive filter and a non-recursive filter as filters 11 and 12.

[0071]

What is necessary is just to adjust the phase adjustment value of the Gentlemen phase regulators 13 and 14, and the adjustment gain K of a multiplier 16 so that the deflection of a target command and a controlled-system output may become as small as possible. For example, what is necessary is to adjust so that deflection may become small while accelerating the adjustment gain K of a multiplier 16 with fixed acceleration, and just to adjust the phase adjustment value of the Gentlemen phase regulators 13 and 14 so that deflection may become small while acceleration is changing.

[0072]

(The 2nd example)

Drawing 6 is the block diagram showing the configuration of the servo control by the 2nd example of this invention. In the 2nd example, although the compensatory-signal computing element 10 is the same as the 1st example, the position control machine 30 is formed instead of the predictor-control machine 20 in the 1st example shown in drawing 1.

[0073]

The position control machine 30 adjusts a control input so that the target command which integrates a target command delta value and is obtained, and the output of a controlled system may be in agreement. For example, what is necessary is just to let the position control machine 30 be the PID-control machine which determines a control input by either proportion (Proportional) of the deflection of a target command and a motor location, the integral (Integral) or differential (Derivative) and the operation of those combination.

[0074]

The control input outputted from the position control machine 30 is given to the motor controller 3 with the output of the compensatory signal outputted from the compensatory-signal computing element 10, and a controlled system. And a motor 2 drives with the motor controller 3.

[0075]

Here, the position control machine 30 can be freely constituted to compensate for the configuration of the motor controller 3. For example, what is necessary is just to constitute the position control machine 30 as a PID-control machine sent to the motor controller 3 by making a rate command into a control input, when the motor controller 3 performs speed control of a motor 2.

[0076]

Moreover, what is necessary is just to constitute the position control machine 30 as a thing containing a speed-control machine in a simple PID-control machine and the simple interior, when the motor controller 3 performs only a torque control.

[0077]

Moreover, in the 1st and 2nd examples, also when motors 2 are rectilinear-propagation mold actuators, such as a linear motor driven by thrust command, the servo control of the same configuration as what was mentioned above can be applied.

[0078]

[Effect of the Invention]

While a controller controls a controlled system according to the target command delta value which was generated from the command delta value by the compensatory-signal computing element and which can be followed according to this invention Since a compensatory-signal computing element compensates the difference of a command delta value and a target command delta value with feedforward's compensatory signal over a controlled system when it cannot follow only with a controller, since change of a rate or acceleration is large A controlled system 1 can be controlled by high flattery precision, without a rate and acceleration producing a transient overshoot and continuous oscillation to the command changed sharply.

[Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] It is the block diagram showing the configuration of the servo control by the 1st example of this invention.

[Drawing 2] It is the block diagram showing an example of the configuration of a compensatory-signal computing element.

[Drawing 3] It is the block diagram showing other examples of a configuration of a compensatory-signal computing element.

[Drawing 4] It is the block diagram showing the example of a configuration of further others of a compensatory-signal computing element.

[Drawing 5] It is the block diagram showing the example of a configuration of further others of a compensatory-signal computing element.

[Drawing 6] It is the block diagram showing the configuration of the servo control by the 2nd example of this invention.

[Drawing 7] It is the block diagram showing the configuration of the predictor-control machine used for the conventional servo control.

[Drawing 8] It is the block diagram showing the configuration of the servo control which applied the predictor-control machine shown in drawing 7 .

[Description of Notations]

1 Controlled System

2 Motor

3 Motor Controller

10-10''' Compensatory-signal computing element

11 12 Filter

13 14 Phase adjuster

15 Subtractor

16 Multiplier

20 Predictor-Control Machine

30 Position Control Machine

S1 - S4 Signal

---

[Translation done.]

\* NOTICES \*

JPO and NCIP are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.

2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.

3.In the drawings, any words are not translated.

---

## DESCRIPTION OF DRAWINGS

[Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] It is the block diagram showing the configuration of the servo control by the 1st example of this invention.

[Drawing 2] It is the block diagram showing an example of the configuration of a compensatory-signal computing element.

[Drawing 3] It is the block diagram showing other examples of a configuration of a compensatory-signal computing element.

[Drawing 4] It is the block diagram showing the example of a configuration of further others of a compensatory-signal computing element.

[Drawing 5] It is the block diagram showing the example of a configuration of further others of a compensatory-signal computing element.

[Drawing 6] It is the block diagram showing the configuration of the servo control by the 2nd example of this invention.

[Drawing 7] It is the block diagram showing the configuration of the predictor-control machine used for the conventional servo control.

[Drawing 8] It is the block diagram showing the configuration of the servo control which applied the

predictor-control machine shown in drawing 7.

### [Description of Notations]

## 1 Controlled System

## 2 Motor

### 3 Motor Controller

### 10-10''' Compensatory-signal computing element

11 12 Filter

13 14 Phase adjuster

## 15 Subtractor

## 16 Multiplier

## 20 Predictor-Control Machine

## 30 Position Control Machine

## S1 - S4 Signal

[Translation done.]

**\* NOTICES \***

JPO and NCIP are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

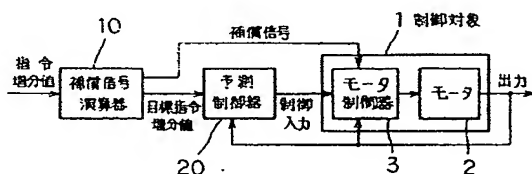
1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.

2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.

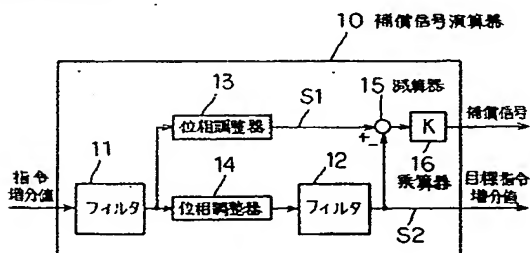
**3. In the drawings, any words are not translated.**

## DRAWINGS

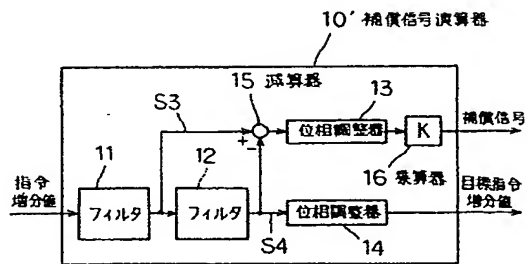
[Drawing 1]



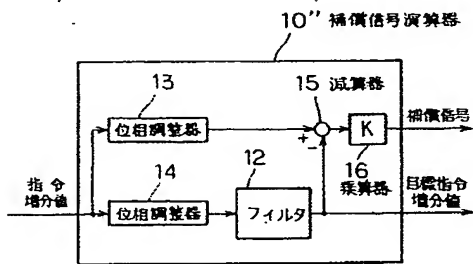
[Drawing 2]



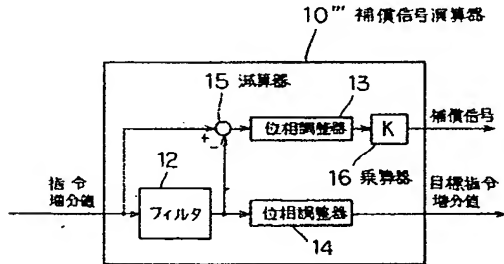
[Drawing 3]



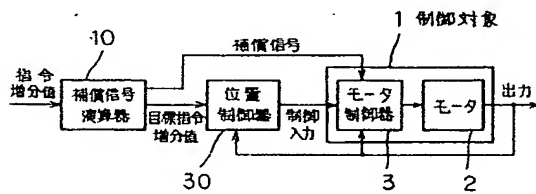
[Drawing 4]



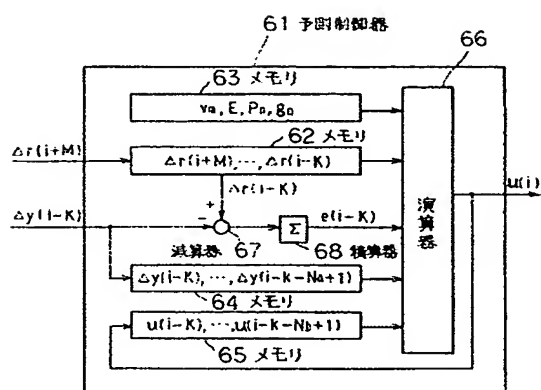
[Drawing 5]



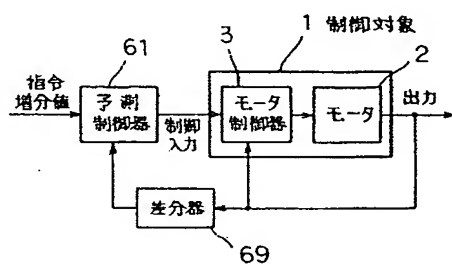
[Drawing 6]



[Drawing 7]



[Drawing 8]



[Translation done.]



**書誌**

(19)【発行国】日本国特許庁(JP)  
(12)【公報種別】公開特許公報(A)  
(11)【公開番号】特開2004-264979(P2004-264979A)  
(43)【公開日】平成16年9月24日(2004. 9. 24)  
(54)【発明の名称】サーボ制御装置  
(51)【国際特許分類第7版】

G05B 13/04  
H02P 5/00

**【FI】**

G05B 13/04  
H02P 5/00 P

【審査請求】未請求  
【請求項の数】19  
【出願形態】OL  
【全頁数】13  
(21)【出願番号】特願2003-52804(P2003-52804)  
(22)【出願日】平成15年2月28日(2003. 2. 28)  
(71)【出願人】  
【識別番号】000006622  
【氏名又は名称】株式会社安川電機  
【住所又は居所】福岡県北九州市八幡西区黒崎城石2番1号  
(74)【代理人】  
【識別番号】100088328  
【弁理士】  
【氏名又は名称】金田 暢之  
(74)【代理人】  
【識別番号】100106297  
【弁理士】  
【氏名又は名称】伊藤 克博  
(74)【代理人】  
【識別番号】100106138  
【弁理士】  
【氏名又は名称】石橋 政幸  
(72)【発明者】  
【氏名】中村 裕司  
【住所又は居所】福岡県北九州市八幡西区黒崎城石2番1号 株式会社安川電機内  
(72)【発明者】  
【氏名】梅田 信弘  
【住所又は居所】福岡県北九州市八幡西区黒崎城石2番1号 株式会社安川電機内  
【テーマコード(参考)】

5H004  
5H550

【Fターム(参考)】

5H004 GA01 GB15 HA07 HB07 JA03 JB01 KC24 KC27 LA02 LA12 MA11  
5H550 AA18 GG02 GG04 GG10 JJ11 KK06 LL22 LL32 MM17

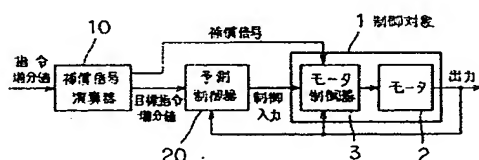
## 要約

### (57)【要約】

【課題】オーバーシュートや持続振動を伴わずに高い追従精度を得られるサーボ制御装置を提供する。

【解決手段】補償信号演算器10は、指令のサンプリング周期間の増分である指令増分値を入力として、制御対象1が追従可能な成分である目標指令増分値を生成して制御器20に送る。また、補償信号演算器10は、指令増分値と目標指令増分値の差分を補償する補償信号を生成して制御対象1に送る。制御器20は、目標指令増分値と制御対象1の出力とを入力として、指令と制御対象1の出力とを一致させるように制御入力を制御対象1に送る。

【選択図】図1



## 請求の範囲

### 【特許請求の範囲】

#### 【請求項1】

指令に応じて制御対象を制御するサーボ制御装置であって、前記指令のサンプリング周期間の増分である指令増分値の、前記制御対象が追従可能な成分である目標指令増分値と、前記制御対象の出力とを入力として、前記目標指令増分値の積算値である目標指令と前記制御対象の出力とを一致させるように制御入力を前記制御対象に送る制御器と、

前記指令増分値を入力として前記目標指令増分値を生成して前記制御器に送ると共に、前記指令増分値と前記目標指令増分値の差分を補償する補償信号を生成して前記制御対象に送る補償信号演算器とを有するサーボ制御装置。

#### 【請求項2】

前記補償信号演算器は、前記指令増分値をフィルタリングして前記目標指令増分値を抽出する第1のフィルタと、前記補償信号を得るために前記指令増分値から前記目標指令増分値を減算する減算器とを有する、請求項1記載のサーボ制御装置。

#### 【請求項3】

前記補償信号演算器は、前記補償信号に調整ゲインを乗算して前記制御対象に送る乗算器をさらに有する、請求項2記載のサーボ制御装置。

#### 【請求項4】

前記補償信号演算器は、前記指令増分値を位相調整して前記減算器に送る第1の位相調整器と、該指令増分値を位相調整して前記第1のフィルタに送る第2の位相調整器とをさらに有する、請求項3記載のサーボ制御装置。

#### 【請求項5】

前記補償信号演算器は、前記減算器の出力を位相調整して前記乗算器に送る第1の位相調整器と、前記第1のフィルタで抽出された前記目標指令増分値を位相調整して前記制御器に送る第2の位相調整器とをさらに有する、請求項3記載のサーボ制御装置。

#### 【請求項6】

前記補償信号演算器は、入力の前記指令増分値を予めフィルタリングする第2のフィルタをさらに有する、請求項3記載のサーボ制御装置。

【請求項7】

前記制御器は、前記制御対象における、未来時刻の偏差予測値と制御入力と制御入力増分値とに関する評価関数を最小とするように前期制御入力を決定する予測制御器である、請求項1記載のサーボ制御装置。

【請求項8】

前記制御器は、前記目標指令増分値を積算して得られる目標指令と、前記制御対象の出力とを一致させるように前記制御入力を調整する位置制御器である、請求項1記載のサーボ制御装置。

【請求項9】

前記制御対象がモータおよびその速度制御器を含み、

前記制御器は、前記速度制御器に前記制御入力として速度指令を与え、

前記補償信号演算器は、前記速度制御器に前記補償信号として、速度あるいはトルクを補償するフィードフォワード信号を与える、請求項1記載のサーボ制御装置。

【請求項10】

前記制御対象がモータおよびそのトルク制御器を含み、

前記制御器は、前記トルク制御器に前記制御入力としてトルク指令を与え、

前記補償信号演算器は、前記トルク制御器に前記補償信号として、トルクを補償するフィードフォワード信号を与える、請求項1記載のサーボ制御装置。

【請求項11】

前記モータが直進型モータである、請求項9または10記載のサーボ制御装置。

【請求項12】

前記第1または第2の位相調整器がローパスフィルタである、請求項4または5に記載のサーボ制御装置。

【請求項13】

前記第1または第2の位相調整器がハイパスフィルタである、請求項4または5に記載のサーボ制御装置。

【請求項14】

前記第1または第2の位相調整器が、信号を位相調整用パラメータで指定された時間分だけ遅延させる遅延器である、請求項4または5記載のサーボ制御装置。

【請求項15】

前記第1のフィルタが巡回型フィルタである、請求項2記載のサーボ制御装置。

【請求項16】

前記第1のフィルタが非巡回型フィルタである、請求項2記載のサーボ制御装置。

【請求項17】

前記第2のフィルタが巡回型フィルタである、請求項6記載のサーボ制御装置。

【請求項18】

前記第2のフィルタが非巡回型フィルタである、請求項6記載のサーボ制御装置。

【請求項19】

前記位置制御器は、前記目標指令増分値を積算して得られる目標指令と、前記モータの位置との偏差の比例、積分、あるいは微分演算のいずれか、またはそれらの組み合わせによって制御入力を決定する、請求項8記載のサーボ制御装置。

## 詳細な説明

### 【発明の詳細な説明】

#### 【0001】

#### 【発明の属する技術分野】

本発明は、高い指令追従精度を必要とする工作機、半導体製造装置、実装機などを駆動するサーボ制御装置に関する。

【0002】

【従来の技術】

制御対象の出力を目標指令に一致させるように、制御対象に制御入力を与えるサーボ制御装置として、従来から様々な構成が提案されている(例えば、本出願人による特許文献1、2を参照)。

【0003】

図7は、特許文献1に記載された従来のサーボ制御装置に用いられる予測制御器の構成を示すブロック図である。

【0004】

予測制御器61は、メモリ62～65、演算器66、減算器67、および積算器68を有している。そして、予測制御器61は、制御対象の出力を目標指令に一致させるよう、現在時刻 $i \cdot T_s$ (以下、便宜上、時刻 $i$ と称す。 $T_s$ : サンプル周期)において、 $M$ サンプル未来の目標指令増分値 $\Delta r(i+M)$ と、 $K$ ( $K \geq 0$ )サンプル過去の制御対象の出力の増分値(以下、出力増分値と称する) $\Delta y(i-K)$ を入力として、制御入力 $u(i)$ を制御対象に与える。

【0005】

メモリ62は、複数サンプル分の目標指令増分値を記憶する。メモリ63は、制御用の定数 $E, v_{-K} + 1, \dots, v_M, p_0, \dots, p_{N_a-1}, g_1, \dots, g_{N_b+K-1}$ を記憶する。メモリ64は、複数サンプル分の出力増分値を記憶する。メモリ65は、複数サンプル分の制御入力を記憶する。

【0006】

減算器67は、 $K$ サンプル過去の目標指令増分値 $\Delta r(i-K)$ と出力増分値 $\Delta y(i-K)$ との差を求める。積算器68は、減算器67の出力を積算することにより、偏差 $e(i-K)$ を求める。

【0007】

演算器66は、制御対象の制御入力から出力までの伝達関数モデルを用いて求めた未来偏差予測値と、偏差と、制御入力に関する評価関数が最小となるように、制御入力 $u(i)$ を、

【0008】

【数1】

$$u(i) = \sum_{m=-K+1}^M v_m \Delta r(i+m) - \sum_{n=0}^{N_a-1} p_n \Delta y(i-K-n) + E e(i-K) - \sum_{n=1}^{N_b+K-1} g_n u(i-n) \quad (1)$$

【0009】

として求める。

【0010】

図8は、図7に示した予測制御器を適用したサーボ制御装置の構成を示すブロック図である。予測制御器61からの制御入力は、制御対象の出力と共に、モータ制御器3に与えられる。そして、モータ制御器3の制御によってモータ2が駆動される。差分器69は、制御対象の出力から出力増分値を生成して予測制御器61に送る。

【0011】

本構成によれば、未来の偏差予測値が最小となるように制御入力決定されるため、追従精度の良いサーボ制御装置が実現される。

【0012】

また、本出願による特許文献3には、フィードフォワード制御が施されても、予測精度を劣化させないフィードフォワード信号作成指令フィルタを含む追従精度の高いサーボ制御装置が提案されている。

【0013】

【特許文献1】

特許第3175877号公報

【特許文献2】

国際公開 WO93/20489

## 【特許文献3】

特開2002-62906号公報

## 【0014】

## 【発明が解決しようとする課題】

従来のサーボ制御装置は、動特性による制御の遅れや、負荷の変動や摩擦などに起因する駆動トルクの不足を補償することができないので、速度や加速度の大きな変動に対して追従誤差を生じるという問題があった。

## 【0015】

また、このような追従誤差を改善するために、指令応答を改善するようにパラメータを調整すると、オーバーシュートや持続振動を伴ってしまうという問題もあった。

## 【0016】

本発明の目的は、オーバーシュートや持続振動を伴わずに高い追従精度を得られるサーボ制御装置を提供することである。

## 【0017】

## 【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するために、本発明のサーボ制御装置は、指令に応じて制御対象を制御するサーボ制御装置であって、前記指令のサンプリング周期間の増分である指令増分値の、前記制御対象が追従可能な成分である目標指令増分値と、前記制御対象の出力とを入力として、前記目標指令増分値の積算値である目標指令と前記制御対象の出力とを一致させるように制御入力を前記制御対象に送る制御器と、前記指令増分値を入力として前記目標指令増分値を生成して前記制御器に送ると共に、前記指令増分値と前記目標指令増分値の差分を補償する補償信号を生成して前記制御対象に送る補償信号演算器とを有している。

## 【0018】

したがって、本発明によれば、補償信号演算器により指令増分値から生成された、制御器にて追従可能な目標指令増分値に従って、制御器が制御対象を制御すると共に、速度や加速度の変化が大きいために制御器が追従できないときのみ、指令増分値と目標指令増分値の差分を、補償信号演算器が制御対象に対するフィードフォワードの補償信号により補償する。

## 【0019】

また、前記補償信号演算器は、前記指令増分値をフィルタリングして前記目標指令増分値を抽出する第1のフィルタと、前記補償信号を得るために前記指令増分値から前記目標指令増分値を減算する減算器とを有していてもよい。

## 【0020】

また、前記補償信号演算器は、前記補償信号に調整ゲインを乗算して前記制御対象に送る乗算器をさらに有していてもよい。

## 【0021】

また、前記補償信号演算器は、前記指令増分値を位相調整して前記減算器に送る第1の位相調整器と、該指令増分値を位相調整して前記第1のフィルタに送る第2の位相調整器とをさらに有していてもよい。あるいは、前記補償信号演算器は、前記減算器の出力を位相調整して前記乗算器に送る第1の位相調整器と、前記第1のフィルタで抽出された前記目標増分値を位相調整して前記制御器に送る第2の位相調整器とをさらに有していてもよい。

## 【0022】

また、前記補償信号演算器は、入力の前記指令増分値を予めフィルタリングする第2のフィルタをさらに有していてもよい。

## 【0023】

また、前記制御器は、前記制御対象における、未来時刻の偏差予測値と制御入力と制御入力増分値とに関する評価関数を最小とするように前期制御入力を決定する予測制御器であってもよい。あるいは、前記制御器は、前記目標指令増分値を積算して得られる目標指令と、前記制御対象の出力とを一致させるように前記制御入力を調整する位置制御器であってもよい。

## 【0024】

また、前記制御対象がモータおよびその速度制御器を含み、前記制御器は、前記速度制御器に前記

制御入力として速度指令を与え、前記補償信号演算器は、前記速度制御器に前記補償信号として、速度あるいはトルクを補償するフィードフォワード信号を与えることとしてもよい。

【0025】

あるいは、前記制御対象がモータおよびそのトルク制御器を含み、前記制御器は、前記トルク制御器に前記制御入力としてトルク指令を与え、前記補償信号演算器は、前記トルク制御器に前記補償信号として、トルクを補償するフィードフォワード信号を与えることとしてもよい。

【0026】

また、前記モータが直進型モータであってもよい。

【0027】

また、前記第1または第2の位相調整器がローパスフィルタであってもよく、ハイパスフィルタであってもよく、さらに、信号を位相調整用パラメータで指定された時間分だけ遅延させる遅延器であってもよい。

【0028】

また、前記第1のフィルタが巡回型フィルタであってもよく、非巡回型フィルタであってもよい。前記第2のフィルタが巡回型フィルタであってもよく、非巡回型フィルタであってもよい。

【0029】

また、前記位置制御器は、前記目標指令増分値を積算して得られる目標指令と、前記モータの位置との偏差の比例、積分、あるいは微分演算のいずれか、またはそれらの組み合わせによって制御入力を決定することとしてもよい。

【0030】

【発明の実施の形態】

本発明の実施例について図面を参照して詳細に説明する。

【0031】

(第1の実施例)

図1は、本発明の第1の実施例によるサーボ制御装置の構成を示すブロック図である。図1を参照すると、サーボ制御装置は、補償信号演算器10および予測制御器20を有しており、制御対象1を制御する。

【0032】

補償信号演算器10は、上位指令器(不図示)より与えられた指令のサンプリング周期間の増分値(指令増分値)を基に、補償信号と目標指令増分値を生成する。

【0033】

目標指令増分値は、指令増分値の、制御対象が追従可能な成分である。補償信号は、指令増分値と目標指令増分値の差分を補償する信号である。

【0034】

予測制御器20は、目標指令増分値と制御対象1の出力とを入力として所定の演算を行うことにより制御入力を生成し、制御対象1に与える。このとき、予測制御器20は、未来時刻の偏差予測値と、制御入力と、制御入力増分値に関する評価関数を最小にするように制御入力を決定する。

【0035】

予測制御器20は、特許文献1～3などに記載された、既存のものであってよく、ここでは、例えば図7に示した例を用いる。

【0036】

図7の例で、制御対象1の伝達関数モデルが、 $G_p(z) = (b_1 z^{-1} + \dots + b_{N_b} z^{-N_b}) / \{(1 - z^{-1})(1 - a_1 z^{-1} - \dots - a_{N_a} z^{-N_a})\}$ の離散時間系で得られているとすると、その入出力増分値モデルは式(2)となる。

【0037】

【数2】

$$\Delta \hat{y}(i) = \sum_{n=1}^{Na} a_n \Delta \hat{y}(i-n) + \sum_{n=1}^{Nb} b_n u(i-n) \quad (2)$$

【0038】

なお、ここで、 $\Delta$ は、サンプリング周期間の増分値であることを示す。時刻*i*においては、時刻*i-K*までの出力増分値の実測値 $\Delta y(i-n)$  ( $n \geq K$ ) が得られているため、それ以降の出力増分値を、実測値を用いて、

【0039】

【数3】

$$\Delta y^*(i-K+1) = \sum_{n=1}^{Na} a_n \Delta y(i-K+1-n) + \sum_{n=1}^{Nb} b_n u(i-K+1-n) \quad m = -K+1 \quad (3a)$$

$$\Delta y^*(i+m) = \sum_{n=1}^{m+K-1} a_n \Delta y^*(i+m-n) + \sum_{n=m+K}^{Na} a_n \Delta y(i+m-n) + \sum_{n=1}^{Nb} b_n u(i+m-n) \quad m > -K+1 \quad (3b)$$

【0040】

で予測すると、出力増分値予測値 $\Delta y^*(i+m)$ は式(4)となる。

【0041】

【数4】

$$\Delta y^*(i+m) = \sum_{n=K}^{Na+K-1} A_{mn} \Delta y(i-n) + \sum_{n=0}^{Nb+K-1} B_{mn} u(i-n) \quad m \geq -K+1 \quad (4)$$

【0042】

ここで係数 $A_{mn}$ 、 $B_{mn}$ は、未来の制御入力を $u(j)=0$  ( $j>i$ )とすると、

【0043】

【数5】

$$A_{(-K+1)n} = a_{(n-K+1)} \quad m = -K+1, K \leq n \leq Na+K-1 \quad (5a)$$

$$A_{mn} = \sum_{j=1}^{m+K-1} a_j A_{(m-j)n} + a_{(n+m)} \quad m > -K+1, K \leq n \leq Na+K-1 \quad (5b)$$

$$B_{(-K+1)n} = b_{(n-K+1)} \quad m = -K+1, 0 \leq n \leq Nb+K-1 \quad (6a)$$

$$B_{mn} = \sum_{j=1}^{m+K-1} a_j B_{(m-j)n} + b_{(n+m)} \quad m > -K+1, 0 \leq n \leq Nb+K-1 \quad (6b)$$

【0044】

で与えられる。ただし、 $a_n = 0 (n > N_a)$ ,  $b_n = 0 (n < 1 \text{ および } n > N_b)$  とする。

【0045】

また  $u(j) = u(i) (j > i)$  とすると、式(6b)の  $B_{m0}$  は式(6b') となる。

【0046】

【数6】

$$\left. \begin{aligned} B_{m0} &= 0 & -K+1 < m \leq 0 \\ B_{m0} &= \sum_{j=1}^{m+K-1} a_j B_{(m-j)0} + \sum_{j=1}^m b_j & m \geq 1 \end{aligned} \right\} \quad (6b')$$

【0047】

そこで、未来偏差予測値  $e^*(i+m)$  を、

【0048】

【数7】

$$e^*(i+m) = \sum_{s=-K+1}^m \{\Delta r(i+s) - \Delta y^*(i+s)\} + e(i-K) \quad 1 \leq m \leq M \quad (7)$$

【0049】

で与え、評価関数

【0050】

【数8】

$$J = \sum_{m=1}^M w_m \{e^*(i+m) + \alpha e(i-K)\}^2 + c\{u(i)\}^2 + c_d \{\Delta u(i)\}^2 \quad (8)$$

【0051】

が最小となるように制御入力  $u(i)$  を決定すると、 $\partial J / \partial u(i) = 0$  より、式(1)が得られる。ただし各定数、 $v_m$ ,  $p_n$ ,  $E$ ,  $g_n$  は式(9)で与えられる。

【0052】

【数9】



$$\left. \begin{aligned}
 \beta_i &= \sum_{j=1}^f B_{j0}, \quad W = \sum_{s=1}^M w_s \beta_s^2 + c + c_d, \quad q_i = w_i \beta_i / W \\
 v_m &= \sum_{s=m}^M q_s, \quad m = -K+1, -K+2, \dots, M \\
 E &= (1+\alpha)v_i \\
 p_n &= \sum_{m=-K+1}^M v_m A_{m(n+K)}, \quad n = 0, 1, \dots, N_a - 1 \\
 g_1 &= \sum_{m=-K+1}^M v_m B_{m1} - c_d / W, \quad n = 1 \\
 g_n &= \sum_{m=-K+1}^M v_m B_{mn}, \quad n = 2, \dots, N_b + K - 1
 \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

【0053】

ここで、 $K=0$ とすると、式(8)の評価関数は、

【0054】

【数10】

$$J = \sum_{m=1}^M w_m \{e^*(i+m) + \alpha e(i)\}^2 + c\{u(i)\}^2 + c_d \{\Delta u(i)\}^2 \quad (10)$$

【0055】

となる。

【0056】

そして、式(10)の評価関数を最小にする制御入力 $u(i)$ は、

【0057】

【数11】

$$u(i) = \sum_{m=1}^M v_m \Delta r(i+m) - \sum_{n=0}^{N_a-1} p_n \Delta y(i-n) + E e(i) - \sum_{n=1}^{N_b-1} g_n u(i-n) \quad (11)$$

【0058】

で得られる。

【0059】

予測制御器20からの制御入力は、補償信号演算器10からの補償信号、および制御対象の出力と共に、モータ制御器3に与えられる。そして、モータ制御器3の制御によってモータ2が駆動される。

【0060】

図2は、補償信号演算器の構成の一例を示すブロック図である。図2を参照すると、補償信号演算器10は、フィルタ11、12、位相調整器13、14、減算器15、および乗算器16を有している。

【0061】

フィルタ11は、与えられた指令増分値をフィルタリングする。位相調整器13は、フィルタ11の出力を位相調整して信号S1を生成し、減算器15に送る。位相調整器14は、フィルタ11の出力を位相調整し、フィルタ14に送る。フィルタ14は、位相調整器14の出力をフィルタリングして信号S2を生成す

る。信号S2は、目標指令増分値として予測制御器20に与えられる。減算器15は、位相調整器13からの信号S1から、フィルタ14からの信号S2を減算し、乗算器16に送る。乗算器16は、減算器15の出力にゲインKを乗算して補償信号を生成し、モータ制御器3に与える。

【0062】

以上説明したように、第1の実施例によれば、補償信号演算器10により指令増分値から生成された目標指令増分値に従って、予測制御器20が制御対象1を制御すると共に、速度や加速度の変化が大きいために予測制御器20の制御のみでは生じてしまう追従偏差を小さくするように、指令増分値と目標指令増分値の差分を、補償信号演算器10が制御対象1に対するフィードフォワードの補償信号により補償するので、速度や加速度の変化が大きく変動する指令に対してオーバーシュートや持続振動を生じることなく、高い追従精度で制御対象1を制御することができる。

【0063】

ここでは補償信号演算器の構成の一例を図2に示したが、その他の構成も可能である。

【0064】

図3は、補償信号演算器の他の構成例を示すブロック図である。

【0065】

図3に示された補償信号演算器10'に入力された指令増分値はフィルタ11を介して信号S3となる。また、信号S3はフィルタ12を介して信号S4となる。減算器15は、信号S3から信号S4を減算して位相調整器13に送る。信号S4は、位相調整器14で位相調整されて目標指令増分値として予測制御器20に送られる。減算器15の出力は、位相調整器13で位相調整され、乗算器16でゲインKを乗算され、補償信号となってモータ制御器3に送られる。

【0066】

図4は、補償信号演算器のさらに他の構成例を示すブロック図である。図4の補償信号演算器10''は、図2に示した補償信号演算器10からフィルタ11を削除した構成である。図5は、補償信号演算器のさらに他の構成例を示すブロック図である。図5の補償信号演算器10'''は、図3に示した補償信号演算器10'からフィルタ11を削除した構成である。図4、5の構成は、制御対象1の剛性が極めて高い場合に有効である。

【0067】

制御対象1のモータ制御器3が速度制御器である場合、モータ制御器3への制御入力は速度指令であり、補償信号は、モータ制御器3内の速度あるいはトルクを補償するフィードフォワード信号である。

【0068】

制御対象1のモータ制御器3がトルク制御器である場合、モータ制御器3への制御入力はトルク指令であり、補償信号はモータ制御器3内のトルクを補償するフィードフォワード信号である。

【0069】

補償信号演算器10に含まれる各位相調整器13、14としては、ローパスフィルタ、ハイパスフィルタ、あるいは位相調整用パラメータに設定した時間だけ信号を遅延させる遅延器のうち、より効果的でないいずれかを選択すればよい。

【0070】

フィルタ11、12としては、巡回型フィルタ、非巡回型フィルタのうち、いずれか効果の高いものを選択すればよい。

【0071】

各位相調整器13、14の位相調整値、および乗算器16の調整ゲインKは、目標指令と制御対象出力との偏差ができる限り小さくなるように調整すればよい。例えば、乗算器16の調整ゲインKを、一定加速度で加速しているときに偏差が小さくなるように調整し、各位相調整器13、14の位相調整値を、加速度が変化しているときに偏差が小さくなるように調整すればよい。

【0072】

(第2の実施例)

図6は、本発明の第2の実施例によるサーボ制御装置の構成を示すブロック図である。第2の実施例において、補償信号演算器10は第1の実施例と同じであるが、図1に示された第1の実施例における予測制御器20の代わりに位置制御器30が設けられている。

【0073】

位置制御器30は、目標指令増分値を積算して得られる目標指令と、制御対象の出力とが一致するように制御入力を調整する。例えば、位置制御器30は、目標指令とモータ位置の偏差の比例(Proportional)、積分(Integral)、あるいは微分(Derivative)のいずれか、またはそれらの組み合わせの演算によって制御入力を決定するPID制御器とすればよい。

【0074】

位置制御器30より出力された制御入力は、補償信号演算器10より出力された補償信号、および制御対象の出力と共に、モータ制御器3に与えられる。そして、モータ制御器3によりモータ2が駆動される。

【0075】

ここで、位置制御器30は、モータ制御器3の構成に合わせて自由に構成できる。例えば、モータ制御器3がモータ2の速度制御を行う場合、位置制御器30は、速度指令を制御入力としてモータ制御器3に送るPID制御器として構成すればよい。

【0076】

また、モータ制御器3がトルク制御のみを行う場合、位置制御器30は、単純なPID制御器や内部に速度制御器を含むものとして構成すればよい。

【0077】

また、第1および第2の実施例において、モータ2が推力指令により駆動されるリニアモータなどの直進型アクチュエータである場合も、上述したものと同様の構成のサーボ制御装置を適用可能である。

【0078】

【発明の効果】

本発明によれば、補償信号演算器により指令増分値から生成された、追従可能な目標指令増分値に従って、制御器が制御対象を制御すると共に、速度や加速度の変化が大きいために制御器だけでは追従できないときに、指令増分値と目標指令増分値の差分を、補償信号演算器が制御対象に対するフィードフォワードの補償信号により補償するので、速度や加速度が大きく変動する指令に対してオーバーシュートや持続振動を生じることなく、高い追従精度で制御対象1を制御することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施例によるサーボ制御装置の構成を示すブロック図である。

【図2】補償信号演算器の構成の一例を示すブロック図である。

【図3】補償信号演算器の他の構成例を示すブロック図である。

【図4】補償信号演算器のさらに他の構成例を示すブロック図である。

【図5】補償信号演算器のさらに他の構成例を示すブロック図である。

【図6】本発明の第2の実施例によるサーボ制御装置の構成を示すブロック図である。

【図7】従来のサーボ制御装置に用いられる予測制御器の構成を示すブロック図である。

【図8】図7に示した予測制御器を適用したサーボ制御装置の構成を示すブロック図である。

【符号の説明】

- 1 制御対象
- 2 モータ
- 3 モータ制御器
- 10～10''' 補償信号演算器
- 11, 12 フィルタ
- 13, 14 位相調整器
- 15 減算器
- 16 乗算器
- 20 予測制御器
- 30 位置制御器
- S1～S4 信号

## 図の説明

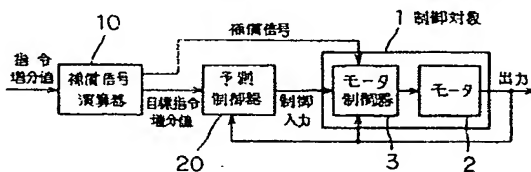
【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施例によるサーボ制御装置の構成を示すブロック図である。  
 【図2】補償信号演算器の構成の一例を示すブロック図である。  
 【図3】補償信号演算器の他の構成例を示すブロック図である。  
 【図4】補償信号演算器のさらに他の構成例を示すブロック図である。  
 【図5】補償信号演算器のさらに他の構成例を示すブロック図である。  
 【図6】本発明の第2の実施例によるサーボ制御装置の構成を示すブロック図である。  
 【図7】従来のサーボ制御装置に用いられる予測制御器の構成を示すブロック図である。  
 【図8】図7に示した予測制御器を適用したサーボ制御装置の構成を示すブロック図である。  
 【符号の説明】

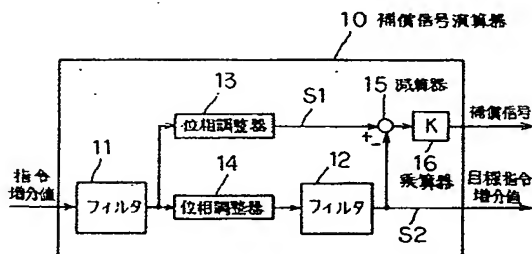
1 制御対象  
 2 モータ  
 3 モータ制御器  
 10～10''' 補償信号演算器  
 11, 12 フィルタ  
 13, 14 位相調整器  
 15 減算器  
 16 乗算器  
 20 予測制御器  
 30 位置制御器  
 S1～S4 信号

## 図面

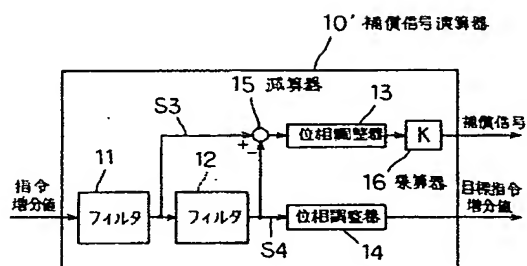
【図1】



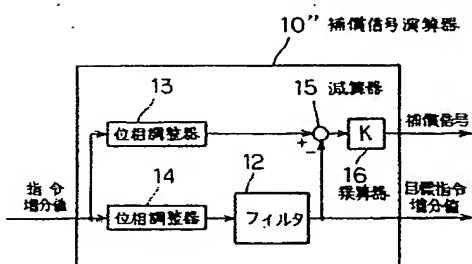
【図2】



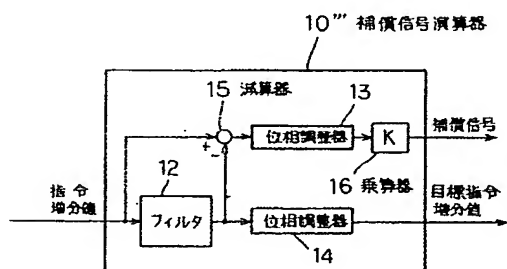
【図3】



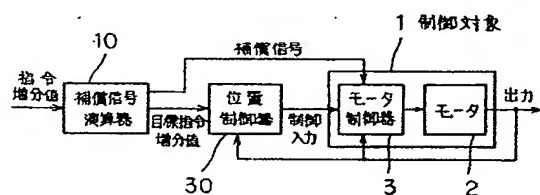
【図4】



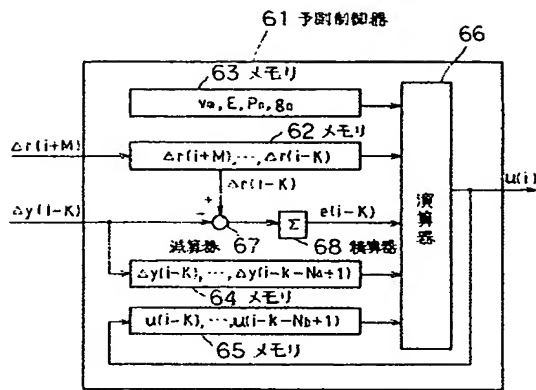
【図5】



【図6】



【図7】



【図8】

